

УДК 621.923.1

Н.В. ЛИЩЕНКО, канд. техн. наук,
В.П. ЛАРИШИН, д-р техн. наук, Одесса,
А.Н. КОВАЛЬЧУК, канд. техн. наук, Харьков, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОФИЛЬНОГО ШЛИФОВАНИЯ НА СТАНКЕ С ЧПУ

Розглянуто параметри, що характеризують продуктивність профільного шліфування методом копіювання – об'ємний з'їм матеріалу в одиницю часу і загальний обсяг матеріалу, що видаляється. Виконано аналіз цих параметрів на основі порівняння методів їх визначення для профільного шліфування і для традиційних схем прямокутного шліфування – плоского і круглого. Сформульована концепція еквівалентного прямокутного профілю шліфувального круга, яким можна замінити будь-який довільний криволінійний профіль, наприклад трикутний або евольвентний, виходячи з рівності зазначених параметрів знімання припуску.

Ключові слова: продуктивність профільного шліфування, метод копіювання

Рассмотрены параметры, характеризующие производительность профильного шлифования методом копирования – объёмный съём материала в единицу времени и общий объём удаляемого материала. Выполнен анализ этих параметров на основе сравнения методов их определения для профильного шлифования и для традиционных схем прямоугольного шлифования – плоского и круглого. Сформулирована концепция эквивалентного прямоугольного профиля шлифовального круга, которым можно заменить любой произвольный криволинейный профиль, например треугольный или эвольвентный, исходя из равенства указанных параметров съёма припуска.

Ключевые слова: производительность профильного шлифования, метод копирования

The parameters that characterize the profile grinding method productivity – e.g., the specific material removal rate and the volume of cut material – are considered. An analysis of these parameters is made by comparison of methods of these parameters determining for the profile grinding and for rectangular grinding conventional operations – surface and cylindrical ones. A concept of an equivalent rectangular profile of the grinding wheel is advanced, which can replace any arbitrary curved profile, e.g., such as triangular or involute, based on the equality of mentioned material removal stock parameters.

Keywords: profile grinding, method productivity

1. Постановка проблемы. Чистовой финишный процесс по жесткой схеме (без упругих отжати) является наиболее распространённым на заключительном этапе технологии изготовления зубчатых колёс. В качестве такого процесса используют шлифование, которое наиболее часто производят методом копирования профильным шлифовальным кругом (ШК), т.е. с периодическим прерыванием процесса резания, и методом обката червячным ШК с непрерывной генерацией обработанной зубчатой поверхности. В первом случае (discontinuous profile grinding) пятно контакта между ШК и изделием является постоянным при фиксированном

расположении профилей ШК и заготовки зубчатого колеса (ЗК), во втором (continuous generating gear grinding) – переменным.

Для оценки производительности и проектирования шлифовальной операции используется ряд характеристических величин, к числу которых относятся: количество удаляемого в единицу времени материала (material removal rate) Q_w (в $\text{мм}^3/\text{с}$), общий объем удаляемого материала V_w (в мм^3) и толщина среза (un-deformed chip thickness). В зарубежной литературе первые два показателя дополнительно приведены к единице эффективной (далее активной) ширины (width) ШК и обозначены соответственно: Q'_w в $\text{мм}^3/(\text{с}\cdot\text{мм})$, и V'_w в $\text{мм}^3/\text{мм}$ [1, 2]. В отечественной литературе показатель Q_w (в $\text{мм}^3/\text{с}$) называют расчётной интенсивностью съёма металла [3] (далее объёмный съём материала в единицу времени или интенсивность шлифования), однако для профильного (фасонного) шлифования отсутствуют методики его определения. Показатели V_w (в мм^3) и V'_w (в $\text{мм}^3/\text{мм}$) в отечественной литературе не получили должного распространения по той же причине. В этой связи разработка методики определения показателей Q'_w (specific material removal rate) в $\text{мм}^3/(\text{с}\cdot\text{мм})$ и V'_w (volume of cut material) в $\text{мм}^3/\text{мм}$, для любой произвольной формы профиля ШК, например для треугольного или эвольвентного профиля, относится к числу актуальных задач технологии машиностроения.

2. Анализ последних исследований и публикаций. В работе [2] отмечается важность указанных выше показателей, названных «характеристическими величинами» (characteristic values), которые могут быть использованы для проектирования операции зубошлифования. Показана аналогия в оценке этих показателей для обычных операций плоского и наружного круглого шлифования с точки зрения постоянства контакта, которое имеет место в этих операциях и при зубошлифовании методом копирования. Эта аналогия заключается в использовании геометрических и кинематических условий для определения показателей Q'_w и V'_w . Например, применительно к схеме плоского шлифования

$$Q'_w = a_e \cdot V_f, \quad (1)$$

где a_e и V_f – соответственно, глубина резания (мм) и скорость детали (мм/с) при плоском шлифовании. Аналогичные зависимости можно получить для традиционных схем круглого наружного и внутреннего шлифования, а также для врезного шлифования с поперечной подачей V_f (мм/с). Эти зависимости

для круглого наружного и внутреннего шлифования (рис. 1) имеют следующий вид [1].

Для продольного шлифования

$$Q'_w = (a_e \cdot n_w \cdot d_w \cdot \pi) / 60, \quad (2)$$

где a_e – поперечная подача (глубина резания) на проход, мм; n_w – частота вращения заготовки, мин^{-1} ; d_w – обрабатываемый диаметр (наружный или внутренний).

Для врезного шлифования

$$Q'_w = (V_f \cdot d_w \cdot \pi) / 60, \quad (3)$$

где V_f – поперечная подача на врезание, мм/с.

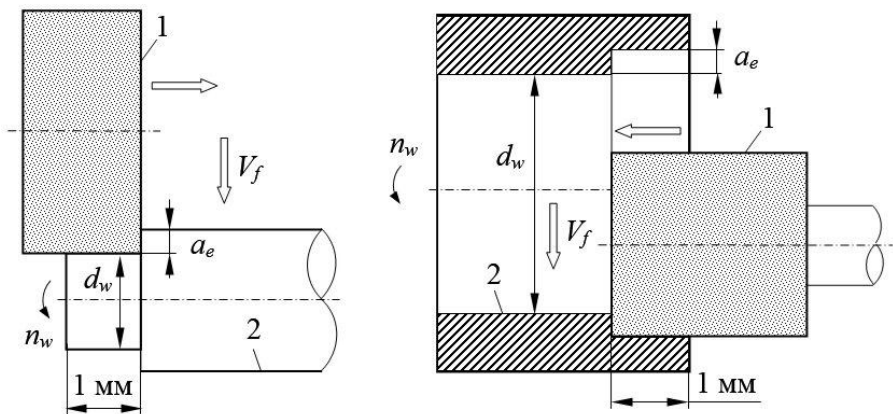


Рисунок 1 – Схемы круглого наружного (слева) и внутреннего (справа) шлифования с продольной подачей и врезного [1]

Однако, применительно к любому сложному профилю, например, эвольвентному, методика определения показателей Q'_w и V'_w в литературе отсутствует. Это сдерживает развитие эффективных САПР шлифовальных операций, а также встроенных в ЧПУ шлифовального станка компьютерных систем технологической диагностики.

При профильном шлифовании в отличие от прямоугольного шлифования (плоского шлифования, круглого шлифования с продольной подачей, врезного шлифования плоского и круглого) величину Q_w найти проблематично. Для этого необходимо выполнить интегрирование по

сечению сложного профиля [4], в том числе с учётом смещения осей профиля инструмента и шлифуемой впадины [5]. Подход с позиции единичности зерна [6] не получил дальнейшего развития в теории производительности шлифования. На основании проведённого теоретического анализа [7] возникла задача разработать инженерный метод, позволяющий упростить определение Q_w и Q'_w для любой произвольной формы профиля, например, треугольной или эвольвентной формы.

3. Цель исследования заключается в разработке способа определения показателей Q'_w и V'_w для любой произвольной формы профиля при профильном шлифовании по жёсткой схеме, например, при зубошлифовании методом копирования. Для этого необходимо определить площади сечения среза, которые однозначно характеризуют эти показатели.

4. Материалы исследований. Для определения понятия «активная ширина профиля» ШК и «активная ширина эквивалентного прямоугольного профиля» (ЭПП) рассмотрим схему на рис. 2. На этой схеме треугольный профиль ШК (точки *IHE*) расположен симметрично по отношению к профилю предварительно сформированной канавки (точки *IOB*). Выполним геометрический анализ этой схемы.

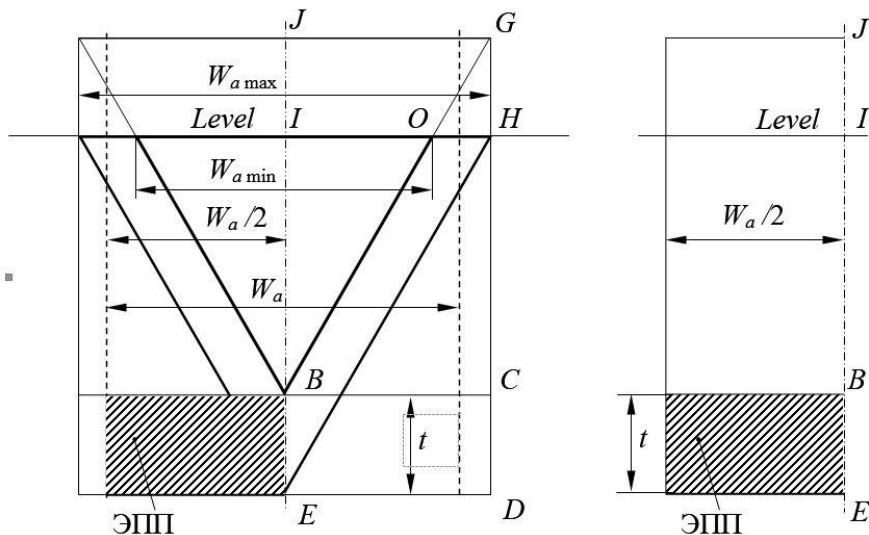


Рисунок 2 – Определение ЭПП (справа) для исходного треугольного профиля (слева) ШК: W_a – активная ширина ЭПП, $W_a \max$ и $W_a \min$ – активная ширина треугольного профиля на последующем (с глубиной резания t) и предыдущем рабочем ходе

Рассмотрим на рис. 2 площади фигур, расположенные справа от вертикальной оси симметрии и отмеченные буквами латинского алфавита (обозначения ниже – площади соответствующих фигур на рис. 2).

Видно, что

$$GHEB = JGHE - JGB \quad (4)$$

В свою очередь

$$JGHE = IHE + JGHI \quad (5)$$

Формула (4) с учетом формулы (5) имеет вид

$$GHEB = (IHE + JGHI) - JGB \quad (6)$$

Из рис.2 следует, что

$$IHE = JGB \quad (7)$$

Подставляем (7) в (6) и получаем

$$GHEB = (JGB + JGHI) - JGB = JGHI \quad (8)$$

Из (8) следует, что $GHEB = JGHI$. В свою очередь, из рис.2 видно $JGHI = BCDE$. Следовательно,

$$GHEB = BCDE \quad (9)$$

Далее видно, что

$$OHEB = GHEB - GHO \quad (10)$$

С учетом формулы (9) формула (10) принимает вид

$$OHEB = BCDE - GHO \quad (11)$$

Отсюда следует, что площадь сечения среза для ЭПП (заштрихованная площадь на рис. 2 – половина этой площади) меньше площади фигуры $BCDE$. Для нахождения площади ЭПП необходимо определить активную ширину ЭПП (W_a на рис. 2), причем $W_{a \min} < W_a < W_{a \max}$.

Для определения влияния бокового смещения предварительно обработанной впадины относительно профиля шлифовального круга рассмотрим рис. 3, где показано как изменяется форма сечения среза при появлении такого смещения Δh , причём $\Delta h_{cr} \geq \Delta h$.

Из рис. 3 видно, что

$$QHEM = OHEB + QOBEM. \quad (12)$$

В свою очередь

$$QOBEM = QOBM + MBE, \quad (13)$$

$$MBE = BPE, \quad (14)$$

$$OHPB = QOBM. \quad (15)$$

Кроме того

$$OHEB = OHPB + BPE. \quad (16)$$

С учетом уравнений (14) и (15)

$$QOBE M = OHEB \quad (17)$$

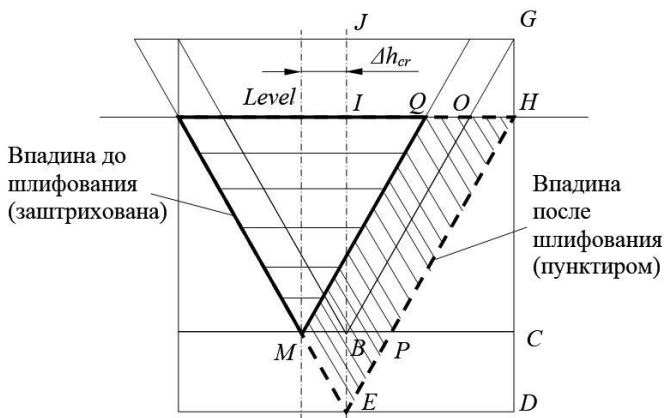


Рисунок 3 – Схема профильного шлифования при несимметричном расположении треугольного профиля ШК и шлифуемой впадины

Теперь с учетом (17), уравнение (12) принимает вид

$$QH E M = OHEB + OHEB = 2(OHEB). \quad (18)$$

Ранее было установлено, что

$$OHEB = BCDE - GHO \text{ или } 2(OHEB) = 2(BCDE) - 2(GHO).$$

С учетом уравнения (18)

$$QH E M = 2(BCDE) - 2(GHO).$$

Следовательно, при смещении впадины из симметричного положения в положение заштрихованного профиля на рис.3 сечение среза становится не симметричным, но площадь этого сечения не изменяется. При этом должно быть выдержано очевидное условие $\Delta h_{cr} \geq \Delta h$, где Δh_{cr} и Δh – критическая и текущая величина смещения осей впадины и ШК. Далее рассмотрим более

общий случай удаления припуска за один рабочий ход профильного ШК. Для этого введём цифровые обозначения точек (рис. 4).

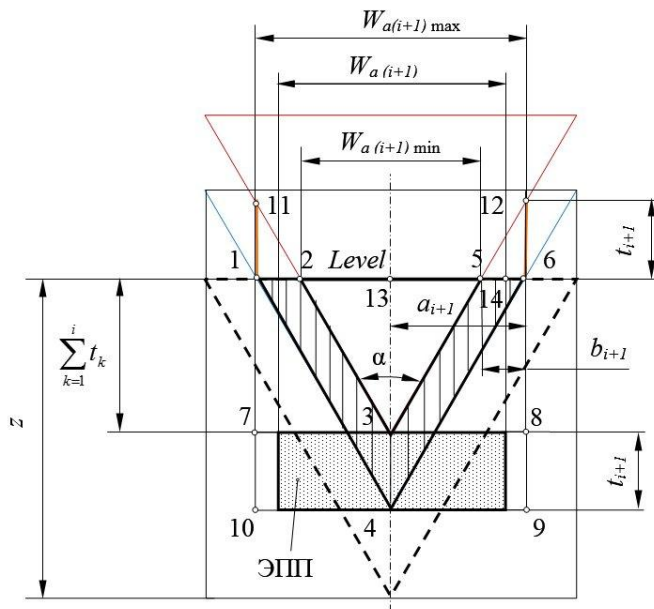


Рисунок 4 – Расчётная схема для определения активной ширины ЭПП

Зная глубину шлифования $t_{(i+1)}$ на очередной $(i+1)$ -й ход определим объёмный съём материала в единицу времени в $\text{мм}^3/\text{с}$

$$Q_{w(i+1)} = S_{i+1} V_o, \quad (19)$$

где S_{i+1} – площадь сечения среза на $(i+1)$ -м ходе, мм^2 ; V_o – скорость детали (скорость шлифовального круга вдоль зубчатого венца, $\text{мм}/\text{с}$).

Из предыдущего анализа (рис. 1) установлено, что площадь фигуры 1–2–3–5–6–4 (вертикальная штриховка на рис. 4) равна разности площадей прямоугольника 7–8–9–10 и площадей двух одинаковых треугольников 1–11–2 и 5–12–6.

Запишем площадь сечения среза S_{i+1} в виде

$$S_{i+1} = S_{7-8-9-10} - 2S_{1-11-2}, \quad (20)$$

где $S_{7-8-9-10} = 2t_{i+1} a_{i+1}$ – площадь прямоугольника 7–8–9–10; a_{i+1} – половина максимальной активной ширины профиля; $S_{1-11-2} = \frac{1}{2} t_{i+1} b_{i+1}$ – площади треугольников 1–11–2 и 5–12–6; b_{i+1} – приращение активной ширины профиля при установке глубины резания $t_{(i+1)}$.

Тогда интенсивность шлифования составляет

$$Q_{w(i+1)} = \left[2(t_{i+1} \cdot a_{i+1}) - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot t_{i+1} \cdot b_{i+1} \right] \cdot V_{\partial}, \quad (21)$$

или
$$Q_{w(i+1)} = [2 \cdot t_{i+1} \cdot a_{i+1} - t_{i+1} \cdot b_{i+1}] \cdot V_{\partial} = V_{\partial} \cdot t_{i+1} (2a_{i+1} - b_{i+1}) \quad (22)$$

Найдем величины a_{i+1} и b_{i+1} из прямоугольных треугольников 4–6–9 и 5–12–6, соответственно. Получим

$$a_{i+1} = \operatorname{tg} \alpha \left(t_{i+1} + \sum_{k=1}^i t_k \right), \quad (23)$$

$$b_{i+1} = t_{i+1} \operatorname{tg} \alpha, \quad (24)$$

где α – половина угла профиля ШК; $\sum_{k=1}^i t_k$ – сумма глубин резания до установки глубины t_{i+1} .

Формула (22) с учетом зависимостей (23) и (24) принимает вид

$$\begin{aligned} Q_{w(i+1)} &= V_{\partial} \cdot t_{i+1} \left(2 \operatorname{tg} \alpha \left(t_{i+1} + \sum_{k=1}^i t_k \right) - t_{i+1} \operatorname{tg} \alpha \right) = \\ &= V_{\partial} \cdot t_{i+1} \left(2 \operatorname{tg} \alpha t_{i+1} + 2 \operatorname{tg} \alpha \sum_{k=1}^i t_k - t_{i+1} \operatorname{tg} \alpha \right) = \\ &= V_{\partial} t_{i+1} \operatorname{tg} \alpha \left(t_{i+1} + 2 \sum_{k=1}^i t_k \right). \end{aligned} \quad (25)$$

Таким образом, получили следующее выражение для интенсивности шлифования

$$Q_{w(i+1)} = V_o t_{i+1} \operatorname{tg} \alpha \left(t_{i+1} + 2 \sum_{k=1}^i t_k \right).$$

Обозначим величину $\operatorname{tg} \alpha \left(t_{i+1} + 2 \sum_{k=1}^i t_k \right)$ через $W_{a(i+1)}$. Назовем этот параметр активной шириной ЭПП. Тогда

$$Q_{w(i+1)} = V_o t_{i+1} W_{a(i+1)}, \text{ мм}^3 / \text{с} \quad (26)$$

Рассмотрим половину профиля и соответственно определим интервал, в котором находится значение $W_{a(i+1)}$ (рис.4) и $W_a / 2$ (рис.3).

Длина отрезка 13–5 из прямоугольного треугольника 13–5–3 составляет $\operatorname{tg} \alpha \sum_{k=1}^i t_k$. Длина отрезка 13–6 из прямоугольного треугольника 13–6–4 составляет $\operatorname{tg} \alpha \left(t_{i+1} + \sum_{k=1}^i t_k \right)$. Длина отрезка 5–6 определяется как разность длин двух отрезков: (13–6) – (13–5).

$$\text{Длина отрезка 5–6: } \operatorname{tg} \alpha \left(t_{i+1} + \sum_{k=1}^i t_k \right) - \operatorname{tg} \alpha \sum_{k=1}^i t_k = t_{i+1} \operatorname{tg} \alpha$$

Длина отрезка 13–14 составляет

$$\operatorname{tg} \alpha \sum_{k=1}^i t_k + \frac{t_{i+1} \operatorname{tg} \alpha}{2} = \operatorname{tg} \alpha \left(\sum_{k=1}^i t_k + \frac{t_{i+1}}{2} \right).$$

Следовательно,

$$W_{a(i+1)} = 2 \operatorname{tg} \alpha \left(\sum_{k=1}^i t_k + \frac{t_{i+1}}{2} \right) = 2 \operatorname{tg} \alpha \sum_{k=1}^i t_k + 2 \operatorname{tg} \alpha \frac{t_{i+1}}{2} = \operatorname{tg} \alpha \left(2 \sum_{k=1}^i t_k + t_{i+1} \right).$$

Параметр $W_{a(i+1)} / 2$ соответствует длине отрезка 13–14, который занимает среднее положение между отрезком 13–6 и отрезком 13–5. Эти отрезки, соответственно, равны $\frac{W_{a(i+1)\max}}{2}$ и $\frac{W_{a(i+1)\min}}{2}$.

Таким образом, величина $W_{a(i+1)}$ находится в интервале $W_{a(i+1)\min} < W_{a(i+1)} < W_{a(i+1)\max}$, которые в свою очередь представляют собой длины отрезков 2–5 и 1–6, соответственно (рис. 4).

Докажем, что $W_{a(i+1)}$ находится в вышеуказанном интервале. Для доказательства необходимо показать, что при условии $t_{i+1} \rightarrow 0$ имеет место $W_{a(i+1)} \rightarrow W_{a(i+1)\min}$, где $W_{a(i+1)\min}$ – предыдущая активная ширина

контакта. При условии $t_{i+1} \rightarrow 0$, по мере стремления $\sum_{k=1}^i t_k$ к величине

$$\sum_{k=1}^i t_k + t_{i+1} = \text{const} \text{ имеет место переход } W_{a(i+1)} \rightarrow W_{a(i+1)\max},$$

где $W_{a(i+1)\max}$ – последующая активная ширина контакта.

Рассмотрим условие $W_{a(i+1)\min} = \lim_{t_{i+1} \rightarrow 0} W_{a(i+1)}$

$$\lim_{t_{i+1} \rightarrow 0} W_{a(i+1)} = 2 \operatorname{tg} \alpha \sum_{k=1}^i t_k. \text{ Из рис. 4 видно, что } W_{a(i+1)\min} = 2 \operatorname{tg} \alpha \sum_{k=1}^i t_k.$$

Рассмотрим условие $W_{a(i+1)\max} = \lim_{t_{i+1} \rightarrow 0} W_{a(i+1)}$

Обозначим $\sum_{k=1}^i t_k + t_{i+1} = K = \text{const}$. Тогда $\sum_{k=1}^i t_k = K - t_{i+1}$. Выражение

для определения $W_{a(i+1)}$ принимает вид

$$W_{a(i+1)} = \operatorname{tg} \alpha (t_{i+1} + 2(K - t_{i+1})).$$

$$\lim_{t_{i+1} \rightarrow K} W_{a(i+1)} = \lim_{t_{i+1} \rightarrow 0} W_{a(i+1)} = \lim_{t_{i+1} \rightarrow 0} \operatorname{tg} \alpha (t_{i+1} + 2(K - t_{i+1})) = 2K \operatorname{tg} \alpha.$$

В момент достижения предела $\sum_{k=1}^i t_k = K$ (т.к. в этот момент $t_{i+1} = 0$).

Следовательно, $\lim_{t_{i+1} \rightarrow K} W_{a(i+1)} = 2 \operatorname{tg} \alpha \sum_{k=1}^i t_k$.

Найдем полный диапазон изменения $W_{a(i+1)}$ при условии, что $t_{i+1} \rightarrow 0$. Получим

$$\lim_{\sum_{k=1}^n t_k \rightarrow 0} W_{a(i+1)} = \lim_{\sum_{k=1}^n t_k \rightarrow 0} \operatorname{tg} \alpha \left(2 \sum_{k=1}^n t_k + t_{i+1} \right) = 0$$

$$\lim_{\sum_{k=1}^n t_k \rightarrow z} W_{a(i+1)} = \lim_{\sum_{k=1}^n t_k \rightarrow z} \operatorname{tg} \alpha \left(2 \sum_{k=1}^n t_k + t_{i+1} \right) = 2z \operatorname{tg} \alpha ,$$

где z – максимальная глубина впадины по чертежу (сумма напуска и припусков на лезвийную и абразивную обработку впадины).

Таким образом, активная ширина ЭПП на всём интервале $0 \dots z$ изменяется от 0 до $2z \operatorname{tg} \alpha$ и для каждой текущей глубины резания изменяется в интервале $W_{a(i+1)\min} < W_{a(i+1)} < W_{a(i+1)\max}$ (рис. 4).

Зная текущий, т.е. на $(i+1)$ -ом рабочем ходу, объёмный съём материала в единицу времени $Q_{w(i+1)}$ (в $\frac{\text{мм}^3}{\text{с}}$), можно найти соответствующие текущий показатель $Q'_{w(i+1)}$ на единицу активной ширины ШК (в $\frac{\text{мм}^3}{\text{с мм}}$) и текущий объём удаляемого материала $V'_{w(i+1)}$ (в $\frac{\text{мм}^3}{\text{мм}}$), причём независимо от формы профиля с учётом (19) получаем:

$$Q'_{w(i+1)} = \frac{Q_{w(i+1)}}{W_{a(i+1)}} = \frac{t_{i+1} W_{a(i+1)} V_f}{W_{a(i+1)}} = t_{i+1} V_f ;$$

$$V'_{w(i+1)} = \frac{Q_{w(i+1)}}{W_{a(i+1)}} \frac{B}{V_f} = B t_{i+1} .$$

где B – длина шлифуемого профиля (например, ширина зубчатого венца), мм; V_f – скорость, определяющая объёмный съём материала в единицу времени (например, скорость перемещения ШК по ширине зубчатого венца при профильном зубошлифовании).

Для системы технологической диагностики операции профильного шлифования можно организовать соответствующие счётчики накопленных показателей Q'_w и V'_w с предварительной установкой в системе ЧПУ станка соответствующих граничных значений, причём

$$Q'_w = \sum_{i=1}^n Q'_{wi} ; \quad V'_w = \sum_{i=1}^n V'_{wi} ,$$

где n – количество рабочих ходов ШК.

5. Выводы и перспективы развития

1. При несовпадении осей профиля шлифовального круга и шлифуемой впадины сечение среза становится несимметричным, но площадь этого сечения среза не изменяется по сравнению со случаем совпадения указанных осей. Следовательно, при прочих равных условиях смещение осей профиля шлифовального круга и профиля впадины шлифуемой заготовки не приводит к изменению объёмного съёма материала в единицу времени.

2. Активная ширина эквивалентного прямоугольного профиля $W_{a(i+1)}$ удовлетворяет условию $W_{a(i+1)\min} < W_{a(i+1)} < W_{a(i+1)\max}$, в котором параметры $W_{a(i+1)\min}$ и $W_{a(i+1)\max}$ представляют собой активную ширину фактического профиля шлифовального круга до и после установки глубины резания этим профилем на очередной $(i+1)$ -й рабочий ход.

3. В общем случае формирования профиля впадины путём удаления слоя напуска и припусков на лезвийную и абразивную операции активная ширина эквивалентного прямоугольного профиля на всём интервале $0 \dots z$, изменяется от 0 до $2z \operatorname{tg} \alpha$, где z – размер впадины по чертежу; α – угол при вершине треугольного профиля.

4. Выполненные исследования являются необходимыми для формулирования и доказательства теоремы об эквивалентном прямоугольном профиле. В соответствии с этой теоремой параметры прямоугольного профиля находят исходя из эквивалента объёмного съёма материала в единицу времени для эквивалентного прямоугольного и реального профиля.

5. Указанный эквивалентный прямоугольный профиль с точки зрения объёмного съёма материала в единицу времени, характеризуется только двумя своими параметрами: глубиной резания (одинаковой для всех точек профиля) и активной шириной профиля, которая определена выше.

6. Разработаны рекомендации для технологической диагностики операции профильного шлифования на станке с ЧПУ, на основе активного контроля расчётных параметров, например, объёмного съёма материала в единицу времени и общего объёма срезаемого материала, в том числе в расчёте на единицу активной ширины профиля шлифовального круга.

Список использованных источников: 1. Руководство по зубошлифованию. Reishauer-Winterthur / [Electronic resource]. – Available on: <http://www.winterthur technology.com> Friday, 15 June 2016 12:09:07. 2. Brecher Christian. Local Simulation of the Specific Material Removal Rate for Generating Gear Grinding / Christian Brecher, Fritz Klocke, Markus Brumm, Florian Hübner / GEARTECHNOLOGY. – September/October 2015. – P.86-90. 3. Попов С.А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твёрдых сплавов / С.А. Попов, Н.П. Малевский, Л.М. Терещенко. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с. 4. Шлифование фасонных поверхностей / А.И. Исаев, А.Н. Филин, М.С. Злотников, В.Ф. Совкин. – М.: Машиностроение, 1980. – 152 с. 5. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с. 6. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с. 7. Ларшин В.П. Теоретический анализ методов наладки зубошлифовального станка с ЧПУ / В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко // Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий: материалы VI Всероссийской межвуз. научн.-техн. конф. – Уфа: УГАТУ, 2016. – С. 181-189.

Bibliography (transliterated): 1. Rukovodstvo po zuboshlifovaniyu. Reishauer-Winterthur / [Electronic resource]. – Available on: <http://www.winterthur technology.com> Friday, 15 June 2016 12:09:07. 2. Brecher Christian. Local Simulation of the Specific Material Removal Rate for Generating Gear Grinding / Christian Brecher, Fritz Klocke, Markus Brumm, Florian Hübner / GEARTECHNOLOGY. – September/October 2015. – P.86-90. 3. Popov S.A. Almazno-abrazivnaya obrabotka metallov i tverdykh splavov / S.A. Popov, N.P. Malevskiy, L.M. Tereshchenko. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 263 s. 4. Shlifovanie fasonnykh poverkhnostey / A.I. Isaev, A.N. Filin, M.S. Zlotnikov, V.F. Sovkin. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 152 s. 5. Yakimov A.V. Abrazivno-almaznaya obrabotka fasonnykh poverkhnostey / A.V. Yakimov. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 312 s. 6. Korchak S.N. Proizvoditel'nost' protsessa shlifovaniya stal'nykh detaley / S.N. Korchak. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 280 s. 7. Larshin V.P. Teoreticheskiy analiz metodov naladki zuboshlifoval'nogo stanka s ChPU / V.P. Larshin, N.V. Lishchenko // Sovremennye tendentsii v tekhnologiyakh metalloobrabotki i konstruktseyakh metalloobrabatyvayushchikh mashin i komplektuyushchikh izdeliy: materialy VI Vserossiyskoy mezhvuz. nauchn.-tekhn. konf. – Ufa: UGATU, 2016. – S. 181-189.